









**Metathesis catalyst containing rhenium, preparation and use thereof****Publication number:** EP0982070**Publication date:** 2000-03-01**Inventor:** SCHWAB PETER DR (DE); BREITSCHIEDER BORIS DR (DE); SCHULZ RALF DR (DE); SCHULZ MICHAEL DR (DE); MUELLER ULRICH DR (DE)**Applicant:** BASF AG (DE)**Classification:****- international:** *B01J23/36; B01J35/10; B01J37/02; C07C6/04; B01J23/16; B01J35/00; B01J37/00; C07C6/00;* (IPC1-7): B01J23/36; B01J37/02; C08G61/08**- european:** B01J23/36; B01J35/10; B01J37/02C6; B01J37/02C6B; C07C6/04**Application number:** EP19990115168 19990813**Priority number(s):** DE19981037203 19980817**Also published as:** US6130181 (A1)  
 EP0982070 (A3)  
 DE19837203 (A1)  
 EP0982070 (B1)**Cited documents:** US4795734  
 EP0438134  
 US5143885  
 US4659686**Report a data error here**

Abstract not available for EP0982070

Abstract of corresponding document: **US6130181**

A catalyst containing Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> on an inorganic support, wherein the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is on the support in the form of Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> particles having a diameter of <1 nm, the rhenium surface area, determined by N<sub>2</sub>O pulse chemisorption, is at least 0.4 m<sup>2</sup>/g, and the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is distributed over the support in the form of an outer shell having a maximum thickness of 1.5 nm.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 982 070 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**29.10.2003 Patentblatt 2003/44**

(51) Int Cl.7: **B01J 23/36, B01J 37/02,**  
**C08G 61/08**

(21) Anmeldenummer: **99115168.9**

(22) Anmeldetag: **13.08.1999**

(54) **Rhenium-enthaltender Metathesekatalysator, Verfahren zu seiner Herstellung und seine Verwendung**

Metathesis catalyst containing rhenium, preparation and use thereof

Catalyseur de métathèse à base de rhénium, sa préparation et son utilisation

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU**  
**MC NL PT SE**

(30) Priorität: **17.08.1998 DE 19837203**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**01.03.2000 Patentblatt 2000/09**

(73) Patentinhaber: **BASF AKTIENGESellschaft**  
**67056 Ludwigshafen (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Schwab, Peter, Dr.**  
**67098 Bad Dürkheim (DE)**  
• **Breitscheidel, Boris, Dr.**  
**67117 Limburgerhof (DE)**

• **Schulz, Ralf, Dr.**  
**67346 Speyer (DE)**  
• **Schulz, Michael, Dr.**  
**67067 Ludwigshafen (DE)**  
• **Müller, Ulrich, Dr.**  
**67435 Neustadt (DE)**

(74) Vertreter: **Isenbruck, Günter, Dr. et al**  
**Isenbruck, Bösl, Hörschler, Wichmann, Huhn,**  
**Patentanwälte**  
**Theodor-Heuss-Anlage 12**  
**68165 Mannheim (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 438 134** **US-A- 4 659 686**  
**US-A- 4 795 734** **US-A- 5 143 885**

**EP 0 982 070 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Metathesekatalysatoren, Verfahren zur Herstellung dieser Katalysatoren sowie deren Einsatz in Metathesereaktionen von Olefinen.

[0002] Für die Katalyse von Metathesereaktionen können sowohl homogene als auch heterogene Katalysatoren eingesetzt werden. Bei technischen Metatheseverfahren werden bevorzugt heterogene Katalysatoren eingesetzt, insbesondere  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltige Trägerkatalysatoren. In der Patentliteratur sind eine Reihe von  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltigen Trägerkatalysatoren sowie Verfahren zu ihrer Herstellung beschrieben. So wird beispielsweise in GB-A- 1 105 564 die Herstellung  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltiger Trägerkatalysatoren mittels Verdampfen von  $\text{Re}_2\text{O}_7$  in einem Inertgasstrom bei Temperaturen zwischen  $150^\circ\text{C}$  und  $700^\circ\text{C}$  und anschließendem Abscheiden des  $\text{Re}_2\text{O}_7$  aus dem Inertgasstrom auf einen Träger beschrieben.

[0003] In US 4,795,734 werden  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltige Trägerkatalysatoren beschrieben, die durch Porentränkung eines aluminiumoxidhaltigen Trägers mit einer Lösung einer Rheniumkomponente hergestellt werden, wobei der imprägnierte Träger nach der Zugabe der rheniumhaltigen Tränklösung für einen Zeitraum von mindestens 10 h bei Temperaturen zwischen  $0^\circ\text{C}$  und  $80^\circ\text{C}$  unter Bedingungen, bei denen das Lösungsmittel nicht verdampft, stehengelassen wird. Wird der imprägnierte Träger bei Temperaturen oberhalb von Raumtemperatur stehengelassen, so wird die Imprägnierung durchgeführt, indem der Träger und die Tränklösung bereits vor der Imprägnierung auf die entsprechende Temperatur erwärmt werden und diese Temperatur während der Imprägnierung gehalten wird. Nach dem Imprägnieren und Stehenlassen wird der getränkte Träger bei Temperaturen von  $85^\circ\text{C}$  bis  $250^\circ\text{C}$  getrocknet und durch Erhitzen auf Temperaturen von  $400^\circ\text{C}$  bis  $1000^\circ\text{C}$  aktiviert.

[0004] Die Nachteile der in der Patentliteratur beschriebenen  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltigen Trägerkatalysatoren bezüglich des Einsatzes bei Metathesereaktionen liegen darin, daß diese Katalysatoren für eine wirtschaftliche Durchführung der Verfahren zu geringe katalytische Aktivitäten und Selektivitäten und vor allem zu kurze Zyklus- und Standzeiten besitzen.

[0005] Hohe katalytische Aktivitäten und Selektivitäten sowie insbesondere lange Zyklus- und Standzeiten werden mit Trägerkatalysatoren erfahrungsgemäß dann erzielt, wenn die Aktivkomponente eines Trägerkatalysators, im vorliegenden Fall  $\text{Re}_2\text{O}_7$ , in möglichst hochdisperser Form auf dem Träger vorliegt, d. h. die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikel müssen möglichst klein und die Rheniumoberfläche muß möglichst groß sein, und wenn die Aktivkomponente in Form einer möglichst dünnen äußeren Schale über den Träger verteilt ist. Es bestand somit die Aufgabe,  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltige Trägerkatalysatoren zu finden, bei denen die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente hochdispers in Form einer äußeren Schale über den Träger verteilt ist, und die dementsprechend hohe katalytische Aktivitäten und Selektivitäten sowie insbesondere lange Zyklus- und Standzeiten aufweisen.

[0006] Es wurde gefunden, daß mittels spezieller Präparationsverfahren  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltige Trägerkatalysatoren hergestellt werden können, bei denen die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente in Form von  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikeln mit einem Durchmesser  $< 1 \text{ nm}$  auf dem anorganischen Träger vorliegt, die Rheniumoberfläche, bestimmt mittels  $\text{N}_2\text{O}$ -Puls-Chemisorption, mindestens  $0,4 \text{ m}^2/\text{g}$  beträgt und die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger in Form einer äußeren Schale mit einer Dicke von maximal  $1,5 \text{ nm}$  verteilt ist.

[0007] Gegenstand der Erfindung ist darüber hinaus der Einsatz der so hergestellten Katalysatoren für Metathesereaktionen von Olefinen, insbesondere zur Umwandlung von  $\text{C}_4$ - und  $\text{C}_5$ -Schnitten, beispielsweise aus Steamcrackern, in wirtschaftlich interessante Produkte, wie beispielsweise zur Gewinnung von Propylen aus  $\text{C}_4$ -Olefinen.

[0008] Gegenstand der Erfindung ist insbesondere der Einsatz der erfindungsgemäßen Katalysatoren für die Herstellung von Propen durch Metathese von  $\text{C}_4$ -Olefinen, wie sie z.B. in DE-A-196 40 026, DE-A-197 40 895 und DE-A-197 46 040 beschrieben ist.

[0009] Die erfindungsgemäßen Katalysatoren enthalten  $\text{Re}_2\text{O}_7$  als Aktivkomponente, das in hochdisperser Form auf einen Träger aufgebracht ist. Als Träger eignen sich beispielsweise Aktivkohlen, Siliciumcarbid, Aluminiumoxide, Siliciumdioxid, Titandioxid, Zirkoniumdioxid, Zinkoxid, Magnesiumoxid oder deren Gemische, bevorzugt Aluminiumoxide, ganz besonders bevorzugt  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Die Träger können beispielsweise in Form von Tabletten, Extrudaten oder Granulat mit Durchmessern von beispielsweise  $3 \text{ mm}$  bis  $5 \text{ mm}$  vorliegen. Der Gehalt an  $\text{Re}_2\text{O}_7$  in den erfindungsgemäßen Katalysatoren liegt bei  $1$  bis  $50 \text{ Gew.}\%$ , bevorzugt  $5$  bis  $20 \text{ Gew.}\%$ , besonders bevorzugt  $9$  bis  $11 \text{ Gew.}\%$ .

[0010] Die erfindungsgemäßen  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltigen Trägerkatalysatoren zeichnen sich vor allem dadurch aus, daß die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente in Form von  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikeln mit einem Durchmesser kleiner als  $1 \text{ nm}$ , bevorzugt kleiner als  $0,7 \text{ nm}$ , auf dem Träger vorliegt, daß die Rheniumoberfläche - bestimmt mittels  $\text{N}_2\text{O}$ -Puls-Chemisorption - mindestens  $0,4 \text{ m}^2/\text{g}$ , bevorzugt mindestens  $0,5 \text{ m}^2/\text{g}$  beträgt, und daß die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger in Form einer äußeren Schale mit einer Dicke von maximal  $1,5 \text{ nm}$ , bevorzugt maximal  $1,0 \text{ nm}$ , verteilt ist.

[0011] Die Größe der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikeln wird mittels Transmissionselektronenmikroskopie bestimmt.

[0012] Die Rheniumoberfläche der erfindungsgemäßen Katalysatoren wird bestimmt mit Hilfe der  $\text{N}_2\text{O}$ -Puls-Chemisorption. Die Methode ist im folgenden näher erläutert:

**Gerät:**

[0013] PulseChemSorb 2705 der Firma Micromeritics.

**5 Probenvorbehandlung:**

[0014] Etwa 1,1 g Katalysator werden in einen Quarz-U-Rohrreaktor mit verbreitertem Proben teil ( $d_a$  entspricht 11 mm) gegeben. Die Probe wird im Strom von 5%  $H_2/Ar$  (30 ml/min) mit einer Aufheizrate von 80 K/min von Raumtemperatur bis 400°C aufgeheizt. Es folgt eine einstündige Reduktion mit Wasserstoff 5.0 (30 ml/min) bei 400°C. Die Probe wird danach 30 min in einem He-Strom mit 30 ml/min bei 400°C eluiert und unter diesem Gas auf 70°C abgekühlt.

**Durchführung der Messung**

[0015] Zur Messung der relativen  $N_2O$ -Chemisorption werden mittels einer Dosierschleife (Volumen : 1000  $\mu l$ )  $N_2O$ -Pulse in einen Heliumstrom von 30 ml/min dosiert und bei 70°C durch die Probe geleitet. Es wird solange gepulst, bis vier gleiche Pulse (jeweils gleiche  $N_2O$ -Menge) hintereinander detektiert werden. Die Analyse der verbrauchten Menge an  $N_2O$  beziehungsweise des entstandenen  $N_2$  erfolgt an einer dem Reaktor nachgeschalteten 0,5 m langen chromatographischen Trennsäule mit Porapak-N®, welche mittels eines Wärmeleitfähigkeitsdetektors aufgezeichnet wird.

**Auswertung der Messung:****[0016]**

1. Aus der Konstanz von vier Pulsen mit dem jeweiligen Flächeninhalt  $PF^i$  wird ein Mittelwert der Pulsfläche ( $MPE$ ) in willkürlichen Einheiten [w.F.] ermittelt. Bei insgesamt  $n$  Pulsen also

$$(1) \quad MPF = \sum_{i=1}^n PF^i / 4$$

Aus diesem Wert  $MPF$  können mit Hilfe des Referenzvolumens  $RV$  die Pulsflächen in  $\mu l$  umgerechnet werden.

$$(2) \quad xMPF[w.E.] = yRV[\mu l]$$

2.1. Die Menge an adsorbiertem Gas  $AdG$  wird aus dem Flächeninhalt der  $n$  Einzelpulse  $PF^i$  wie folgt berechnet:

2.

$$(3) \quad AdG[w.E.] = n * MPF - \sum_{i=1}^n PF^i = (n - 4) * MPF - \sum_{i=1}^n PF^i$$

3. Mit Hilfe von (2) wird die Menge an adsorbiertem Gas  $AdG$  in  $\mu l$  berechnet.

4. Die adsorbierte Gasmenge  $AdG [\mu l]$  wird auf Standardbedingungen  $AdG^s [\mu l]$  umgerechnet.

$$(4) \quad AdG^s = AdG \cdot \frac{273 \cdot p^m}{760 \cdot T^m}$$

$p^m$  : Druck [Torr];  $T^m$  : Adsorptionstemperatur [K]  
 $p^m$  und  $T^m$  werden vor der Messung als Parameter eingegeben.

5. Aus  $AdG^s$  wird durch die Normierung auf das Probengewicht  $G$  die erste Meßgröße, die **spezifische adsorbierte Gasmenge**  $V_m$  [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] berechnet.

$$(5) \quad V_m[\text{cm}^3/\text{g}] = \frac{AdG^s[\mu\text{l}]}{1000 \cdot G[\text{g}]}$$

6. Berechnung von  $V_m$  in [ $\mu\text{mol/g}$ ]

$$(6) \quad V_m[\mu\text{mol/g}] = 44,940 \cdot V_m[\text{cm}^3/\text{g}]$$

für  $\text{N}_2\text{O}$  als Adsorptiv

7. Berechnung der spezifischen Rheniumoberfläche  $S^m$  [ $\text{m}^2/\text{g}^{\text{Kat}}$ ].

$$(7) \quad S^m[\text{m}^2/\text{g}^{\text{Kat}}] = \frac{V_m[\mu\text{mol/g}] \cdot S \cdot N_L \cdot 10^{-6}}{K}$$

$S$ : Stöchiometriefaktor (angenommen  $\text{Re} = 2$ )

$K$ : Anzahl der Metallatome pro  $\text{m}^2$  (für  $\text{Re} = 1,54 \times 10^{19} \text{m}^2$ )

$N_L$ : Avogadrozahl ( $6,022052 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ )

**[0017]** Die Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren erfolgt mit Hilfe zweier spezieller Präparationsverfahren:

#### Verfahren A:

**[0018]** Bei Verfahren A werden die erfindungsgemäßen Katalysatoren hergestellt durch Porentränkung mit einer rheniumhaltigen Lösung, wobei die Tränklösung vor der Tränkung auf eine Temperatur von  $40^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$ , bevorzugt  $50^\circ\text{C}$  bis  $70^\circ\text{C}$ , erwärmt wird. Wichtig hinsichtlich der Eigenschaften der erfindungsgemäßen Katalysatoren ist, daß ausschließlich die Tränklösung auf Temperaturen von  $40^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$  erwärmt wird, während der Träger bei Raumtemperatur gehalten wird. Nach der Aufbringung der Tränklösung auf den Träger läßt man die Tränklösung noch 1 bis 30 Minuten, bevorzugt 5 bis 20 Minuten, auf den Träger einwirken, bevor das Lösungsmittel mittels Trocknung entfernt wird. Die Trocknung wird bei Temperaturen von  $80^\circ\text{C}$  bis  $170^\circ\text{C}$ , bevorzugt  $100$  bis  $150^\circ\text{C}$  über einen Zeitraum von 1 bis 48 h, bevorzugt 12 bis 24 h durchgeführt. Die Trocknung kann ruhend oder bewegt erfolgen.

**[0019]** Als Lösungsmittel wird bevorzugt Wasser verwendet. Als Rhenium-Precursor für diese Präparationsvariante eignen sich beispielsweise Ammoniumperrhenat, Alkaliperrhenate, wässrige Perrheniumsäurelösung und Rhenium (VII)oxid, bevorzugt Ammoniumperrhenat.

#### Verfahren B:

**[0020]** Bei Verfahren B wird der Träger in einer drehbaren Tränktrommel vorgelegt, die mit 2 bis 100 Umdrehungen pro Minute, bevorzugt 5 bis 20 Umdrehungen pro Minute, gedreht wird. Der bewegte Träger wird mit einer rheniumhaltigen Lösung besprüht, wobei die Lösungsmenge dem Porenvolumen des vorgelegten Trägers entspricht und die Lösungsmenge innerhalb von 1 bis 120 Minuten, bevorzugt 5 bis 60 Minuten, besonders bevorzugt 10 bis 30 Minuten, aufgesprüht wird. Nach der Aufbringung der Tränklösung auf den Träger läßt man die Tränklösung noch 1 bis maximal 30 Minuten, bevorzugt 5 bis 20 Minuten, auf den bewegten Träger einwirken, bevor das Lösungsmittel mittels Trocknung entfernt wird. Die Trocknung wird bei Temperaturen von  $80^\circ\text{C}$  bis  $170^\circ\text{C}$ , bevorzugt  $100$  bis  $150^\circ\text{C}$  über einen Zeitraum von 1 bis 48 h, bevorzugt 12 bis 24 h durchgeführt. Die Trocknung kann ruhend oder bewegt erfolgen.

**[0021]** Als Lösungsmittel wird bevorzugt Wasser verwendet. Als Rhenium-Precursor für diese Präparationsvariante

eignen sich beispielsweise Ammoniumperhenat, Alkaliperhenate, wässrige Perheniumsäurelösung und Rhenium (VII)oxid, bevorzugt wässrige Perheniumsäurelösung.

[0022] Die erfindungsgemäßen Katalysatoren werden vor Gebrauch in situ aktiviert durch Kalzinierung bei Temperaturen von 400 bis 700°C, bevorzugt 500 bis 600°C.

[0023] Die erfindungsgemäßen Katalysatoren zeichnen sich gegenüber den literaturbekannten  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -haltigen Trägerkatalysatoren bei Metathesereaktionen durch hohe katalytische Aktivitäten und Selektivitäten aus. Die erfindungsgemäßen Katalysatoren zeichnen sich vor allem durch Zykluszeiten von mindestens 10 Tagen aus (unter einem Zyklus wird hier die Zeitspanne verstanden, in der die katalytische Aktivität des Katalysators auf die Hälfte der Anfangsaktivität des Katalysators zu Beginn des Zyklus abgefallen ist) und dadurch, daß nach der Beendigung eines Zyklus die katalytische Aktivität durch Kalzinierung des gebrauchten Katalysators bei Temperaturen von 400-600°C im Luftstrom und Abkühlen unter Inertgas vollständig, mindestens jedoch auf ein Niveau von 99 % bezüglich der Anfangsaktivität des Frischkatalysators wiederhergestellt werden kann. Darüber hinaus lassen sich die erfindungsgemäßen Katalysatoren mindestens vierzigmal regenerieren, so daß sehr hohe Standzeiten von mindestens einem Jahr (Standzeit: Zykluszeit x Anzahl der Zyklen) resultieren, die eine wirtschaftliche Durchführung von Metatheseverfahren erst ermöglichen.

[0024] Die Erfindung wird anhand der folgenden Beispiele näher erläutert.

#### Herstellung Katalysator A:

[0025] 150 g eines  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Trägers in Form von 4 mm-Extrudaten mit einer Oberfläche von 228  $\text{m}^2/\text{g}$  und einer Porosität von 0,66  $\text{cm}^3/\text{g}$  werden mit einer wässrigen Ammoniumperhenatlösung, die durch Auflösen von 18,5 g Ammoniumperhenat in 99 ml Wasser hergestellt und auf 60°C erwärmt wurde, getränkt. Nach der Aufbringung der Tränklösung auf den Träger läßt man die Tränklösung noch 15 Minuten auf den Träger einwirken. Anschließend wird der getränkte Träger sofort 16 h bei 120°C getrocknet. Der so erhaltene Katalysator enthält 10 Gew.-%  $\text{Re}_2\text{O}_7$ . Die Größe der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikel auf der Trägeroberfläche, die Rheniumoberfläche und die Verteilung der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

#### Herstellung Katalysator B:

[0026] 150 g eines  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Trägers in Form von 4 mm-Extrudaten mit einer Oberfläche von 228  $\text{m}^2/\text{g}$  und einer Porosität von 0,66  $\text{cm}^3/\text{g}$  werden in einer Tränktrommel vorgelegt, die mit einer Geschwindigkeit von 8 Umdrehungen pro Minute gedreht wird. Auf den bewegten Träger wird innerhalb von 25 Minuten 99 ml einer wässrigen Perheniumsäurelösung aufgesprüht. Anschließend läßt man die Tränklösung noch 5 Minuten auf den bewegten Träger einwirken. Der getränkte Träger wird dann sofort 16 h bei 120°C getrocknet. Der so erhaltene Katalysator enthält 10 Gew.-%  $\text{Re}_2\text{O}_7$ . Die Größe der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikel auf der Trägeroberfläche, die Rheniumoberfläche und die Verteilung der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

#### Herstellung Katalysator C (Vergleichskatalysator):

[0027] Aus US 4 795 734 wurde der Katalysator aus Beispiel 4 (Spalte 4, Zeilen 43 -60) nachgestellt. Allerdings wurde die Präparation wegen der Vergleichbarkeit mit den erfindungsgemäßen Katalysatoren A und B ohne die Aktivierung bei 550 °C über 3 h und das Spülen mit Stickstoff (Zeilen 56 - 60) durchgeführt. Die Größe der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikel auf der Trägeroberfläche, die Rheniumoberfläche und die Verteilung der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Katalysator	Re-Oberfläche $\text{m}^2/\text{g}$	$\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikel-größen nm	Re-Verteilung über den Träger
Katalysator A	0,63	0,5	1,5 mm dicke äußere Schale
Katalysator B	0,56	0,6	1,0 mm dicke äußere Schale
Katalysator C (Vergleichskatalysator)	0,29	1,1	homogen

#### Beispiel 1a: Metathese eines n-Buten-Gemisches an Katalysator A

[0028] Raffinat II (40 % 1-Buten, 45 % cis/trans-2-Buten) wurde bei einer Reaktionstemperatur von 60°C, einem Druck von 10 bar und einer Katalysatorbelastung von 1000  $\text{g}/\text{l} \cdot \text{h}$  kontinuierlich über einen mit Katalysator A bestückten

Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur von 550 °C aktiviert. Der Reaktionsaustrag wurde gaschromatographisch online untersucht. Der Umsatz bezüglich 1-Buten lag anfangs bei 80 % und fiel innerhalb von 15 Tagen auf 40 %, d.h. die Zykluszeit betrug 15 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 90 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550 °C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich 1-Buten wieder bei 80 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten zweiten Zyklus bei 90 %. Insgesamt konnte der Katalysator A fünfzigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte: d.h. die Standzeit betrug  $50 \times 15 = 750$  Tage.

#### Beispiel 1b: Ethenolyse von 2-Penten an Katalysator A

[0029] 2-Penten wurde bei einer Temperatur von 40 °C und einem Druck von 40 bar unter Zudosierung von Ethen im Molverhältnis C5/C2 von 1:1 bei einer Katalysatorbelastung von 1000 g/l x h kontinuierlich über einen mit Katalysator A bestückten Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur von 550 °C aktiviert. Der Reaktorausstrag wurde gaschromatographisch online untersucht. Der Umsatz bezüglich des 2-Penten lag anfangs bei 86 % und fiel innerhalb von 14 Tagen auf 43 %, d.h. die Zykluszeit betrug 14 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 98 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550 °C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich des 2-Penten wieder bei 86 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten zweiten Zyklus bei 98 %. Insgesamt konnte der Katalysator A siebenundvierzigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte; d.h. die Standzeit betrug  $47 \times 15 = 705$  Tage.

#### Beispiel 2a: Metathese eines n-Buten-Gemisches an Katalysator B

[0030] Raffinat II (40 % 1-Buten, 45 % cis/trans-2-Buten) wurde bei einer Reaktionstemperatur von 60 °C, einem Druck von 10 bar und einer Katalysatorbelastung von 1000 g/l x h kontinuierlich über einen mit Katalysator B bestückten Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur von 550 °C aktiviert. Der Reaktionsaustrag wurde gaschromatographisch online untersucht. Der Umsatz bezüglich 1-Buten lag anfangs bei 80 % und fiel innerhalb von 15 Tagen auf 40 %, d.h. die Zykluszeit betrug 15 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 90 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550 °C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich 1-Buten wieder bei 80 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten zweiten Zyklus bei 90 %. Insgesamt konnte der Katalysator B achtundvierzigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte: d.h. die Standzeit betrug  $48 \times 15 = 720$  Tage.

#### Beispiel 2b: Ethenolyse von 2-Penten an Katalysator B

[0031] 2-Penten wurde bei einer Temperatur von 40 °C und einem Druck von 40 bar unter Zudosierung von Ethen im Molverhältnis C5/C2 von 1:1 bei einer Katalysatorbelastung von 1000 g/l x h kontinuierlich über einen mit Katalysator B bestückten Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur von 550 °C aktiviert. Der Reaktorausstrag wurde gaschromatographisch online untersucht. Der Umsatz bezüglich 2-Penten lag anfangs bei 87 % und fiel innerhalb von 14 Tagen auf 44 %, d.h. die Zykluszeit betrug 14 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 97 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550 °C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich 2-Penten wieder bei 87 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten zweiten Zyklus bei 97 %. Insgesamt konnte der Katalysator B sechsundvierzigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte; d.h. die Standzeit betrug  $46 \times 15 = 690$  Tage.



**Beispiel 3a (Vergleichsbeispiel):****Metathese eines n-Buten-Gemisches an Katalysator C (Vergleichskatalysator)**

5 [0032] Raffinat II (40 % 1-Buten, 45 % cis/trans-2-Buten) wurde bei einer Reaktionstemperatur von 60°C, einem Druck von 10 bar und einer Katalysatorbelastung von 1000 g/l\*h kontinuierlich über einen mit Katalysator C bestückten Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur von 550 °C aktiviert. Der Reaktionsaustrag wurde gaschromatographisch online analysiert. Der Umsatz bezüglich 1-Buten lag

10 anfangs bei 78 % und fiel innerhalb von 9 Tagen auf 39 %, d.h. die Zykluszeit betrug nur 9 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 86 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550°C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich 1-Buten wieder bei 78 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten zweiten Zyklus bei 86 %. Insgesamt konnte der Katalysator C vierunddreißigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von

15 mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte: die Standzeit betrug somit nur 34 x 9 = 306 Tage.

**Beispiel 3b (Vergleichsbeispiel):****Ethenolyse von 2-Penten an Katalysator C (Vergleichskatalysator)**

[0033] 2-Penten wurde bei einer Temperatur von 40°C und einem Druck von 40 bar unter Zudosierung von Ethen im Molverhältnis C5/C2 von 1:1 bei einer Katalysatorbelastung von 1000 g/l x h kontinuierlich über einen mit Katalysator C bestückten Rohrreaktor geleitet. Der Katalysator wurde vor Gebrauch in situ durch Kalzinierung bei einer Temperatur

25 von 550 °C aktiviert. Der Reaktorausstrag wurde gaschromatographisch online untersucht. Der Umsatz bezüglich 2-Penten lag anfangs bei 80 % und fiel innerhalb von 8 Tagen auf 40 %, d.h. die Zykluszeit betrug nur 8 Tage. Die Propen-Selektivität lag über die gesamte Zyklusdauer bei 95 %. Der Katalysator wurde nach Beendigung des Zyklus durch Kalzinierung im Luftstrom bei 550°C und anschließendes Abkühlen unter Argon regeneriert. Zu Beginn des zweiten Zyklus lag der Umsatz bezüglich 2-Penten wieder bei 80 %, d.h. das Aktivitätsniveau des Frischkatalysators zu Beginn des ersten Zyklus wurde zu 100 % wieder erreicht; die Propen-Selektivität lag auch über den gesamten

30 zweiten Zyklus bei 95 %. Insgesamt konnte der Katalysator C zweiunddreißigmal regeneriert werden, bevor die Anfangsaktivität das Niveau von mindestens 99 % der Anfangsaktivität des Frischkatalysators nicht mehr erreichte; d.h. die Standzeit betrug nur 32 x 8 = 256 Tage.

35

**Patentansprüche**

1. Katalysator, enthaltend  $\text{Re}_2\text{O}_7$  auf einem anorganischen Träger, **dadurch gekennzeichnet, daß** die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente in Form von  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikeln mit einem Durchmesser < 1 nm auf dem Träger vorliegt, die Rheniumoberfläche, bestimmt mittels  $\text{N}_2\text{O}$ -Puls-Chemisorption, mindestens 0,4  $\text{m}^2/\text{g}$  beträgt und die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger in Form einer äußeren Schale mit einer Dicke von maximal 1,5 nm verteilt ist.
2. Katalysator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente in Form von  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Partikeln mit einem Durchmesser < 0,7 nm auf dem Träger vorliegt, die Rheniumoberfläche, bestimmt mittels  $\text{N}_2\text{O}$ -Puls-Chemisorption, mindestens 0,5  $\text{m}^2/\text{g}$  beträgt und die  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Komponente über den Träger in Form einer äußeren Schale mit einer Dicke von maximal 1,0 nm verteilt ist.
3. Katalysator nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Träger ausgewählt ist aus Aktivkohlen, Siliziumcarbid, Aluminiumoxiden, Siliziumdioxid, Titandioxid, Zirkoniumdioxid, Zinkoxid, Magnesiumoxid und Gemischen davon.
4. Katalysator nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Träger  $\gamma$ -Aluminiumoxid ist.
5. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der  $\text{Re}_2\text{O}_7$ -Gehalt, bezogen auf den Katalysator, 9 bis 11 Gew.-% beträgt.
6. Verfahren zur Herstellung von Katalysatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 durch Porentränkung eines Trägers mit einer rheniumhaltigen Tränklösung und Trocknung bei 80°C bis 170°C über 1 bis 48 h, **dadurch gekennzeichnet,**

net, daß ausschließlich die Tränklösung vor der Tränkung auf eine Temperatur von 40 bis 80°C erwärmt wird und man die Tränklösung nach der Tränkung noch 1 bis 30 Minuten auf den Träger einwirken läßt.

7. Verfahren zur Herstellung von Katalysatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Träger in einer drehbaren Tränktrommel vorgelegt wird, die mit 2 bis 100 Umdrehungen pro Minute gedreht wird, mit einer rheniumhaltigen Tränklösung besprüht wird, wobei die Lösungsmenge dem Porenvolumen des vorgelegten Trägers entspricht, die Lösungsmenge innerhalb von 1 bis 120 Minuten aufgesprüht wird, und man die Tränklösung nach der Tränkung noch 1 bis 30 Minuten auf den Träger einwirken läßt, und der imprägnierte Träger bei 80°C bis 170°C über 1 bis 48 h getrocknet wird.
8. Verwendung von Katalysatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 als Metathesekatalysatoren.
9. Verwendung der Katalysatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Herstellung von Propen durch Metathese von C<sub>4</sub>-Olefinen.

#### Claims

1. A catalyst containing Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> on an inorganic support, wherein the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is on the support in the form of Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> particles having a diameter of < 1 nm, the rhenium surface area, determined by N<sub>2</sub>O pulse chemisorption, is at least 0.4 m<sup>2</sup>/g, and the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is distributed over the support in the form of an outer shell having a maximum thickness of 1.5 nm.
2. A catalyst as claimed in claim 1, wherein the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is on the support in the form of Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> particles having a diameter of < 0.7 nm, the rhenium surface area, determined by N<sub>2</sub>O pulse chemisorption, is at least 0.5 m<sup>2</sup>/g, and the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> component is distributed over the support in the form of an outer shell having a maximum thickness of 1.0 nm.
3. A catalyst as claimed in claim 1 or 2, wherein the support is selected from activated carbons, silicon carbide, aluminum oxides, silicon dioxide, titanium dioxide, zirconium dioxide, zinc oxide, magnesium oxide and mixtures thereof.
4. A catalyst as claimed in claim 3, wherein the support is γ-aluminum oxide.
5. A catalyst as claimed in any one of claims 1 to 4, wherein the Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> content, based on the catalyst, is from 9 to 11% by weight.
6. A process for the preparation of a catalyst as claimed in any one of claims 1 to 5 by impregnating the pores of a support with a rhenium-containing impregnation solution and drying the support for from 1 to 48 hours at from 80°C to 170°C, which comprises heating exclusively the impregnation solution to from 40 to 80°C before the impregnation, and allowing the impregnation solution to act on the support for a further 1 to 30 minutes after the impregnation.
7. A process for the preparation of a catalyst as claimed in any one of claims 1 to 5, wherein the support is introduced into a revolvable impregnation drum, which is revolved at from 2 to 100 revolutions per minute, and sprayed with a rhenium-containing impregnation solution, where the amount of solution corresponds to the pore volume of the introduced support, the amount of solution is sprayed on over the course of 1 to 120 minutes, and the impregnation solution is allowed to act on the support for a further 1 to 30 minutes after the impregnation, and the impregnated support is dried at from 80°C to 170°C for from 1 to 48 hours.
8. The use of a catalyst as claimed in any one of claims 1 to 5 as a metathesis catalyst.
9. The use of a catalyst as claimed in any one of claims 1 to 5 for the preparation of propene by the metathesis of C<sub>4</sub>-olefins.

# Revendications

1. Catalyseur, contenant  $\text{Re}_2\text{O}_7$  sur un support inorganique, **caractérisé en ce que** le composant  $\text{Re}_2\text{O}_7$  est présent sur le support sous forme de particules  $\text{Re}_2\text{O}_7$  avec un diamètre  $< 1$  nm, la surface du rhénium, déterminée par chimisorption pulsée du  $\text{N}_2\text{O}$ , s'élève à au moins  $0,4 \text{ m}^2/\text{g}$  et le composant  $\text{Re}_2\text{O}_7$  est distribué sur le support sous la forme d'une enveloppe extérieure d'épaisseur maximale de  $1,5 \text{ nm}$ .
2. Catalyseur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le composant  $\text{Re}_2\text{O}_7$  est présent sous forme de particules  $\text{Re}_2\text{O}_7$  avec un diamètre  $< 0,7 \text{ nm}$  sur le support, la surface du rhénium, déterminée par chimisorption pulsée du  $\text{N}_2\text{O}$ , s'élève à au moins  $0,5 \text{ m}^2/\text{g}$  et le composant  $\text{Re}_2\text{O}_7$  est distribué sur le support sous forme d'une enveloppe extérieure d'épaisseur maximale de  $1,0 \text{ nm}$ .
3. Catalyseur selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le support est choisi parmi le charbon actif, le carbure de silicium, l'oxyde d'aluminium, le dioxyde de silicium, le dioxyde de titane, le dioxyde de zirconium, l'oxyde de zinc, l'oxyde de magnésium et leurs mélanges.
4. Catalyseur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le support est le  $\gamma$ -oxyde d'aluminium.
5. Catalyseur selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la quantité de  $\text{Re}_2\text{O}_7$ , recouvrant le catalyseur, représente 9 à 11 % en poids.
6. Procédé de fabrication de catalyseurs selon l'une des revendications 1 à 5 par adsorption dans les pores d'un support avec une solution d'adsorption contenant du rhénium et séchage entre  $80^\circ\text{C}$  et  $170^\circ\text{C}$  pendant 1 à 48 h, **caractérisé en ce que** seule la solution d'adsorption est chauffée à une température entre  $40$  et  $80^\circ\text{C}$  avant adsorption et on laisse la solution d'adsorption agir encore 1 à 30 minutes sur le support après l'adsorption.
7. Procédé de fabrication de catalyseurs selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le support est placé dans un tambour d'adsorption rotatif, qui est mis en rotation entre 2 et 100 rotations par minute, arrosé avec une solution d'adsorption contenant du rhénium, moyennant quoi la quantité de solution correspond au volume poreux du support présenté, la quantité de solution arrose l'intérieur pendant 1 à 120 minutes, et on laisse la solution d'adsorption agir encore 1 à 30 minutes sur le support après l'adsorption, et le support imprégné est séché entre  $80^\circ\text{C}$  et  $170^\circ\text{C}$  pendant 1 à 48 h.
8. Utilisation de catalyseurs selon l'une des revendications 1 à 5 en tant que catalyseurs de métathèse.
9. Utilisation de catalyseurs selon l'une des revendications 1 à 5 pour la fabrication de propène par métathèse des oléfines en  $\text{C}_4$ .

THIS PAGE BLANK (USPTO)